

# Двухкоординатное управление диаграммой направленности химического нецепного электроразрядного DF-лазера с помощью пространственно-временных модуляторов света

В.Н.Алексеев, В.Н.Котылев, В.И.Либер

*Приведены результаты исследования характеристик излучения химического нецепного DF-лазера (диапазон длин волн генерации 3.5–4.1 мкм) с внутрирезонаторным управлением диаграммой направленности излучения с помощью пространственно-временных модуляторов света на основе электрооптической керамики ЦТСЛ.*

**Ключевые слова:** внутрирезонаторное сканирование излучения, сопряженный резонатор, DF-лазер, пространственно-временной модулятор света, электрооптическая керамика ЦТСЛ.

## 1. Введение

Одним из способов управления диаграммой направленности лазерного пучка в пространстве является использование внутри резонатора пространственно-временных модуляторов света (ПВМС) различных типов [1–4]. Наилучшими быстродействием и лучевой прочностью обладают электроуправляемый ПВМС на основе электрооптической керамики ЦТСЛ (PLZT) [4], прозрачной в широком спектральном диапазоне длин волн (0.5–6.5 мкм) [5].

Ранее [5] нами сообщалось об успешной реализации DF-лазера с однокоординатным внутрирезонаторным электроуправляемым сканированием направления распространения лазерного излучения с помощью ПВМС на основе электрооптической керамики ЦТСЛ.

В настоящей работе приведены результаты исследования характеристик излучения DF-лазера с двухкоординатным сканированием лазерного пучка.

## 2. DF-излучатель и резонатор лазера

Излучение DF-лазера состоит из примерно 15 спектральных линий генерации в диапазоне длин волн 3.5–4.1 мкм при частоте следования импульсов более 1 кГц [6]. В настоящей работе эксперименты по управлению диаграммой направленности проводились на электроразрядном химическом DF-лазере с замкнутым циклом [5]. Сечение разрядного промежутка составляло 14 (расстояние между электродами) × 20 (ширина электродов) мм, длина разрядного промежутка равнялась 300 мм. Емкость накопительного конденсатора, заряжаемого до напряжения 24 кВ, была равна 8800 пФ. Рабочая смесь имела состав  $D_2 : SF_6 = 1 : 5$ . Типичная энергия генерации в

лазере с плоским коротким резонатором достигала 50–55 мДж.

При проведении исследований использовался линейный сопряженный резонатор [4]. Его основное свойство – отображение зеркал резонатора системой линз или зеркал друг на друга. Схема лазера приведена на рис.1. Широкая полоса генерации затрудняет применение линзовой оптики, которая должна быть ахроматической в широком спектральном диапазоне. Поэтому в схеме использовались сферические зеркала с покрытием из алюминия, нанесенного на стеклянную подложку. Фокусные расстояния этих зеркал равны 75 см. Положение осевой моды резонатора по отношению к сечению активной среды показано на вставке к рис.1. Как и в работе [5], нами использовался отражательный поляризатор в виде стопы из трех плоскопараллельных пластин керамики ЦТСЛ, имеющей показатель преломления  $n = 2.47$  в видимом диапазоне спектра. Пластины располагались зигзагообразно для исключения попадания излучения, отраженного от одной пластины, на соседнюю (что уменьшает контраст поляризатора). Такой поляризатор обеспечивал ослабление s-поляризованного излучения в ~40 раз на один проход (измерения проводились на длине волны 1.064 мкм).

В качестве элементов, блокирующих генерацию на не включенных пикселях (направлениях генерации) ПВМС, применялись четвертьволновые фазовые пластинки нулевого порядка, состоящие из двух пластин, с ортогональными направлениями оси  $z$ , изготовленных из кристалла сапфира, разность толщин которых равнялась толщине пластинки нулевого порядка.

ПВМС имели управляющие электроды с одной стороны пластин. Расстояние между электродами равнялось 1 мм, ширина заглубленного в подложку электрода составляла 60 мкм, число электродов было равно 17. Два ПВМС устанавливались вблизи глухого и выходного зеркал резонатора. ПВМС были просветлены нанесением однослойного покрытия для центральной длины волны 3.8 мкм. С помощью компьютерной программы на электроды модуляторов подавались управляющие импульсы напряжения с длительностью 450 мкс и амплитудой

В.Н.Алексеев, В.Н.Котылев, В.И.Либер. ФГУП «Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем», Россия, Ленинградская обл., 188540 Сосновый Бор; e-mail: av@sbior.net

Поступила в редакцию 12 сентября 2007 г.

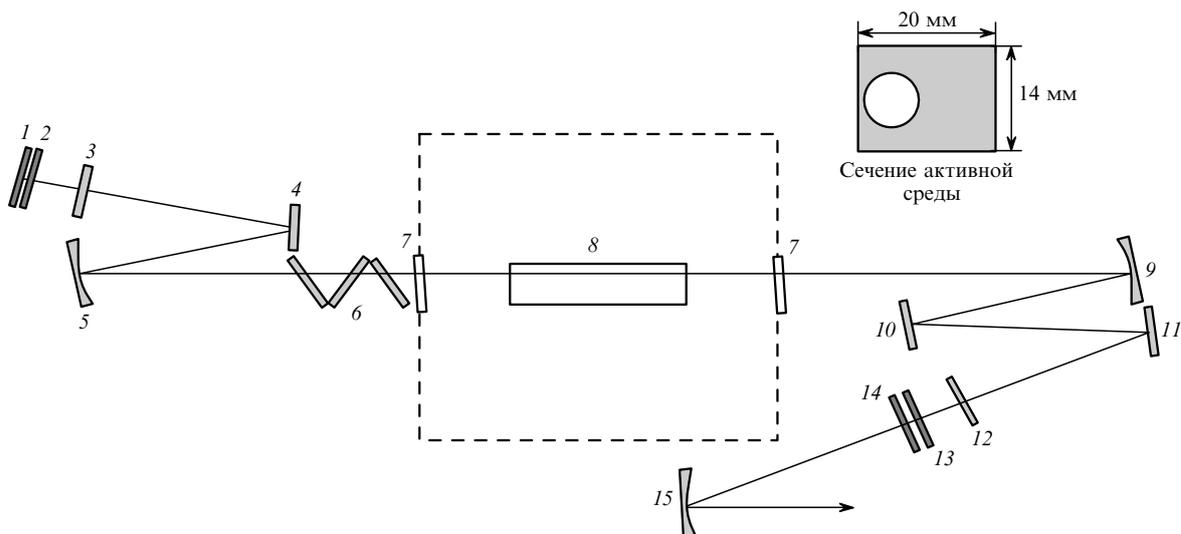


Рис.1. Схема сопряженного резонатора DF-лазера и положение пучка относительно сечения активной среды (на вставке): 1 – многослойное диэлектрическое глухое зеркало резонатора (коэффициент отражения  $R = 99\%$ ); 2, 13 – пластины ПВМС; 3, 12 – четвертьволновые пластинки из сапфира; 4, 10, 11 – плоские поворотные зеркала; 5, 9 – сферические зеркала резонатора с фокусным расстоянием 750 мм ( $R = 100\%$ ); 6 – пластины ЦТСЛ, установленные под углом Брюстера; 7 – окна разрядной камеры из флюорита; 8 – разрядный промежуток размером  $14 \times 20$  мм с активной средой; 14 – выходное зеркало резонатора (плоскопараллельная пластинка из ЦТСЛ); 15 – сферическое внerezонаторное зеркало с фокусным расстоянием 1200 мм.

дой 1650 В. Для данных модуляторов четвертьволновое напряжение для излучения с длиной волны  $0.6328 \text{ мкм}$  составляло 860 В. Для модуляторов с квадратичным электрооптическим эффектом зависимость пропускания излучения от напряжения между электродами  $U$  описывается выражением [7]

$$F(U) = \sin^2 \left[ \pi m n^3 r \frac{l}{2\lambda} \left( \frac{U}{d} \right)^2 \right],$$

где  $m$  – число проходов через модулятор ( $m = 2$  для модулятора, установленного перед зеркалом);  $n$  – показатель преломления керамики ( $n = 2.47$ );  $r$  – электрооптический коэффициент;  $l$  – толщина модулятора в направлении распространения излучения;  $d$  – расстояние между электродами;  $\lambda$  – длина волны излучения. Из данного выражения следует, что пропускание каждой из пластин ПВМС равно 0.7 на два прохода при  $U = 1650$  В. Четвертьволновое напряжение для  $\lambda = 3.8 \text{ мкм}$  приблизительно равно 2 кВ, но из-за опасности возникновения электрического пробоя между электродами прикладывалось напряжение 1650 В.

### 3. Результаты исследований

Перед установкой ПВМС в резонатор условие сопряженности этого резонатора было проверено путем перемещения вблизи зеркала 1 диафрагмы диаметром 1.2 мм. Генерация излучения наблюдалась для широкого диапазона положений диафрагмы вдоль зеркала. Фотография отпечатков на термочувствительной бумаге профиля пучка на выходе DF-лазера при различных положениях диафрагмы приведена на рис.2. Энергия генерации в случае установления четвертьволновых пластинок и поляризаторов в открытое положение составила  $\sim 20$  мДж.

Затем в резонатор были установлены пластины ПВМС, а четвертьволновые пластинки находились в закрытом положении. Включение пикселей ПВМС проводилось за 100 мкс до начала разряда в лазере. Включение разряда приводило к генерации импульса излучения в

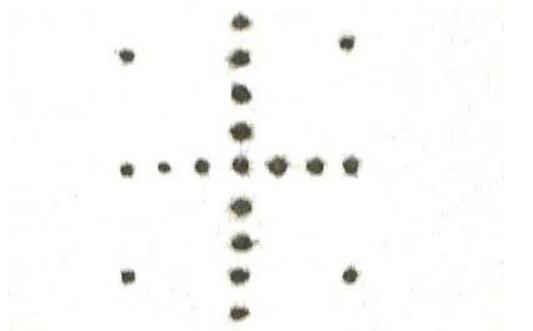


Рис.2. Отпечатки профилей пучков на термочувствительной бумаге, установленной вблизи выходного зеркала резонатора, которые получены при перемещении внутрирезонаторной диафрагмы. Расстояние между соседними пучками в «кресте» равно 2 мм.

направлении, заданном положением пикселя ПВМС. На рис.3 приведены отпечатки распределений интенсивности излучения в дальней зоне на засвеченной фотобумаге, которая располагалась вблизи выходного зеркала резонатора 14 (рис.1).

При использовании данной схемы резонатора получена энергия импульсов 6–8 мДж при сканировании диаграммы направленности лазерного излучения. Для увеличения энергии до  $\sim 20$  мДж необходимо подавать на пластины ПВМС четвертьволновое напряжение (для цен-

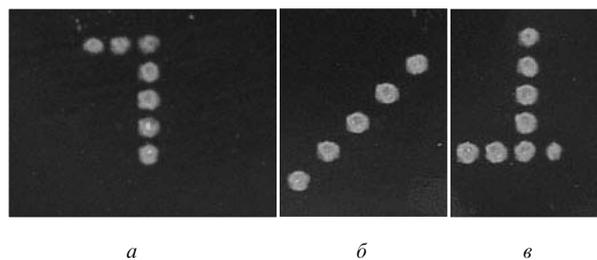


Рис.3. Отпечатки профилей пучка в дальней зоне на черной фотобумаге, полученные при включении пикселей ПВМС в случае сканирования по вертикали (а), диагонали (б) и горизонтали (в).

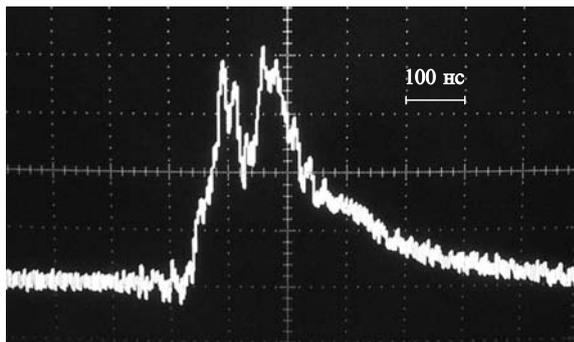


Рис.4. Временная форма импульса излучения DF-лазера.

тральной длины волны генерации), что требует доработки их конструкции для исключения электрического пробоя. Следует отметить, что четвертьволновые пластинки из сапфира и окна разрядной камеры из флюорита не были просветлены, что также представляет определенный резерв для увеличения энергии генерации. С целью увеличения этой энергии выходной импульс был с помощью зеркал направлен в активную среду (вставка к рис.1). В такой схеме увеличение энергии импульса до 18–20 мДж было получено только для случая, когда усиливаемый пучок не пересекал в активной среде объем, в котором происходила генерация.

На рис.4 представлена осциллограмма импульса генерации лазера, полученная с помощью приемника с временным разрешением 7 нс и широкополосного осциллографа (полоса 500 МГц). Характерно наличие двух «горбов», первый из которых, вероятно, определяет короткоживущие линии генерации, а второй – линии генерации с большим временем жизни.

#### 4. Заключение

Впервые экспериментально показана возможность внутрирезонаторного двухкоординатного управления диаграммой направленности излучения химического нецепного DF-лазера с помощью электроуправляемого ПВМС.

Получена энергия импульсов 6–8 мДж при сканировании диаграммы направленности лазерного излучения с расходимостью, близкой к дифракционному пределу. Увеличение их энергии возможно за счет просветления поверхностей четвертьволновых пластинок и окон камеры, а также подачи на модуляторы более высокого напряжения. Возможно также усиление импульсов генерации, что требует активной среды с большим сечением.

Рассматриваемый лазер может найти применение в экологическом мониторинге окружающей среды и в медицине. При сканировании лазерного излучения в угловом пространстве нескольких градусов нет необходимости в оптико-механической системе для отклонения пучка.

1. Владимиров Ф.Л., Грознов М.Н., Еременко А.С. и др. *Квантовая электроника*, **12**, 2071 (1985).
2. Алексеев В.Н., Дмитриев Д.И., Жилин А.Н. и др. *Квантовая электроника*, **21**, 753 (1994).
3. Alekseev V., Liber V., Starikov A., et al. *Ferroelectrics*, **131**, 301 (1992).
4. Алексеев В.Н., Котылев В.Н., Либбер В.И. *Квантовая электроника*, **27**, 233 (1999).
5. Алексеев В.Н., Котылев В.Н., Либбер В.И., Фомин В.М. *Оптический журн.*, **72** (4), 15 (2005).
6. Буцыкин И.Л., Великанов С.Д., Евдокимов П.А. и др. *Квантовая электроника*, **31**, 957 (2001).
7. Title M.A., Lee S.H. *Appl. Opt.*, **29**, 85 (1990).